

---

# МЕТОДИЧНІ РОЗРОБКИ

---

УДК 543.420

Ф. А. Чмиленко, Н. М. Смитюк, А. Н. Бакланов

## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОБОПОДГОТОВКИ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ ПОЧВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОДВИЖНЫХ И ВАЛОВЫХ ФОРМ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Ф. О. Чмиленко, Н. М. Смітюк, О. М. Бакланов

*Дніпропетровський національний університет*

УЛЬТРАЗВУКОВА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОБОПІДГОТОВКИ РІЗНИХ ГЕНЕТИЧНИХ  
ТИПІВ ҐРУНТІВ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ РУХОМИХ І ВАЛОВИХ ФОРМ ХІМІЧНИХ СПОЛУК

Ультразвук використано на стадії пробопідготовки різних типів ґрунту перед атомно-абсорбційним визначенням рухомих форм різних елементів і їх валового вмісту. Експериментально визначено оптимальні діапазони характеристик ультразвуку (частота, інтенсивність) та час впливу, які сприяють максимальному витягу елементів у розчин. Розроблено експресні методики розкладання ґрунту за допомогою ультразвуку на стадії пробопідготовки.

*Ключові слова:* ультразвук, пробопідготовка, ґрунт, рухомі форми та валовий вміст елементів.

F. A. Chmilenko, N. M. Smityuk, A. N. Baklanov

*Dnipropetrovsk National University*

FEATURES OF ULTRASONIC INTENSIFICATION OF SAMPLE PREPARATION OF  
DIFFERENT PHYLLUMS OF SOILS TO DEFINITION OF THE MOBILE FORMS OF  
ELEMENTS AND THEIR TOTAL CONTENT

The ultrasonic sound utilised at the stage of sample preparation of different phyllums of soil before atomic absorption definition of the mobile forms of different members and their gross contents. Optimum ranges of parameters of ultrasonic sound (frequency, intensity) and time of effects contributing to maximum extraction of members in solutions are determined experimentally. The express techniques of decomposing of soils with usage of ultrasonic sound at the stage of sample preparation are designed.

*Keywords:* ultrasonic sound, sample preparation, soils, mobile forms and gross contents of members.

Почва является крайне сложным объектом для анализа в связи с наличием в ней значительных количеств различных органических веществ и неорганических соединений, при этом их концентрации различаются на 1–5 порядков (Практикум по агрохимии, 1989; Методические указания ..., 1992; Орлов, 1990; Аринушкина, 1970). Для оценки загрязненности почв необходимо определять как валовое (общее) содержание тяжелых металлов в почвах, так и их подвижные формы с последующим сопоставлением полученных данных с соответствующими санитарно-гигиеническими требованиями (Фомин Г. С., Фомин А. Г., 2001). Под подвижными формами химических соединений металлов в агрохимии понимают ту их часть, которая извлекается соответствующими растворителями и способна усваиваться корневой системой растений (Практикум по агрохимии, 1989; Аринушкина, 1970). При использовании

стандартных агрохимических методик процесс определения содержания подвижных форм металлов занимает от 30 мин до 1 часа, а валового – 3–8 часов (Аринушкина, 1970). Процесс разложения почвы при определении тяжелых металлов представлен на рис. 1.

Ультразвук (УЗ) широко используется для ускорения анализа почв при определении содержания тяжелых металлов (Маргулис, 1984, 1986; Основы ..., 1987; Васильев, 1965; Эльпинер, 1963; Чмиленко, Бакланов, 2001; Шалы, 1967; Чмиленко, 1994; Атомно-эмиссионное ..., 1989; Кумина, 1985; Ультразвуковое ..., 1989). Однако при этом имеется информация о применении УЗ фиксированных частот (Атомно-эмиссионное ..., 1989; Кумина, 1985; Ультразвуковое ..., 1989), что делало проведенные исследования выборочными, несистемными и как результат – не давало возможности установления закономерностей и обобщений использования УЗ в ускорении анализа почв. Предлагаемая работа посвящена изучению особенностей применения УЗ для анализа различных типов почв.

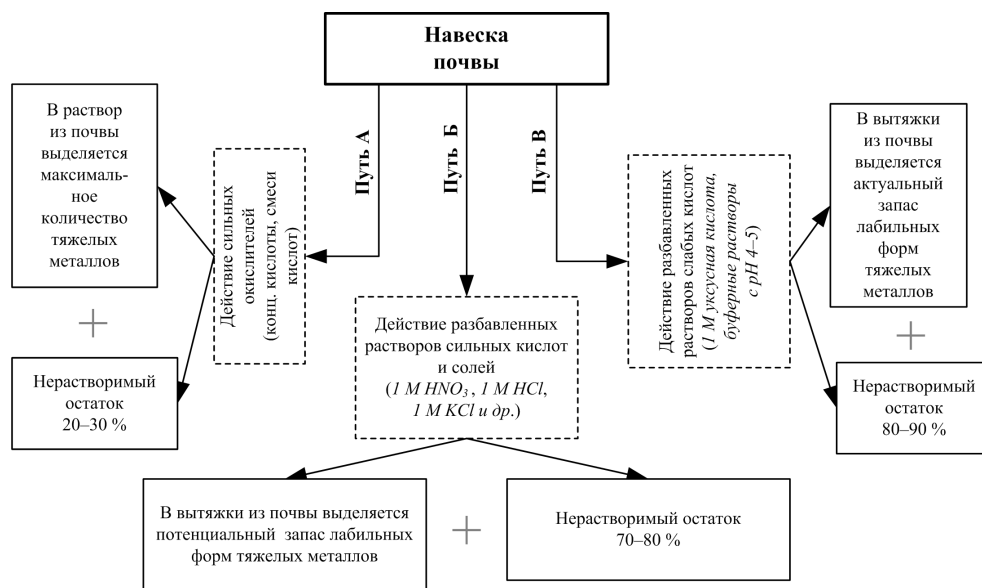


Рис. 1. Перевод тяжелых металлов в аналитическую форму (Ультразвуковая интенсификация пробоподготовки почв при определении подвижных форм элементов)

Для ускорения стадии получения почвенных вытяжек используют различные методы: перемешивание на вибросмесительных установках и применение ультразвукового (УЗ) воздействия, способствующего диспергированию анализируемой пробы и интенсивному перемешиванию гетерогенной системы и, следовательно, более эффективному протеканию процессов массообмена (Маргулис, 1984, 1986). Более перспективным, по нашему мнению, является второй метод. Однако при использовании ультразвукового воздействия в растворы может перейти и та часть тяжелых металлов, которая относится к общему (валовому) содержанию. Это связано с высокой перемешивающей и окислительной способностью УЗ. Применение УЗ для интенсификации гетерогенных массообменных процессов, благодаря большей эффективности ультразвукового перемешивания по сравнению с механическим, приводит к их ускорению в 20–100 раз (Основы ..., 1987; Эльпинер, 1963). Однако при воздействии УЗ на водные системы происходит расщепление молекул воды с образованием множества радикалов, обладающих высокой реакционной способностью, что может инициировать окислительно-восстановительные процессы, приводящие к переводу в раствор «валовой» части тяжелых металлов и как результат – к искажению результатов анализа (Васильев, 1965). В связи с этим применение УЗ возможно только при

условии тщательного сопоставления полученных результатов с результатами агрохимических методик и, следовательно, является оправданным только при необходимости анализа множества однотипных проб. В связи с тем что в практике агрохимического анализа, как правило, анализируется значительное количество однотипных проб (100 и более), использование УЗ для ускорения извлечения массообменных процессов при анализе почв на содержание подвижных форм тяжелых металлов является перспективным и актуальным.

Получение вытяжек из почв согласно агрохимическим методикам приведено в ряде работ: «Практикум по агрохимии» (1989), «Методические указания ...» (1992), «Руководство по химическому анализу почв» (Аринушкина, 1970). В вытяжках определяли *Cd, Co, Cr, Mn, Cu, Ni, Pb* и *Zn* методом атомно-абсорбционной спектрометрии на спектрофотометре ААС–3 (Германия) и С–115 ПКС (Украина) в пламени ацетилен–воздух методами градуировочного графика и добавок. Подвижные формы бора определяли спектрофотометрически с кармином в концентрированной серной кислоте (Ультразвуковая ..., 2001). В качестве растворителей были использованы растворы 1,0 М  $HNO_3$ , 1,0 М  $HCl$ , 1,0 М  $CH_3COOH$  и аммонийно-ацетатный буферный раствор с  $pH$  4,5 (Практикум по агрохимии, 1989; Аринушкина, 1970).

Воздействовали ультразвуком в диапазоне частот 18–47 кГц, так как массообменные процессы наиболее эффективно интенсифицирует низкочастотный ультразвук (Маргулис, 1984, 1986; Чмиленко, Бакланов, 2001). Использовали ультразвуковые диспергаторы УЗДН–1 и УЗДН–1М с набором магнитострикционных излучателей, обеспечивающих излучение УЗ в диапазоне частот 18–47 кГц. Исследование влияния интенсивности УЗ проводили в диапазоне 1,47–5,07 Вт/см<sup>2</sup>. Время воздействия варьировали от 1 до 15 мин.

Исследование влияния параметров УЗ и подбор оптимальных диапазонов для различных типов почв проводили аналогично исследованию влияния УЗ при анализе чернозема обыкновенного (Чмиленко, Смитюк, Бакланов, 2001а; Чмиленко, Смитюк, Бакланов, 2002; Чмиленко, Смитюк, Бакланов, 2001б; Чмиленко, Смитюк, 2001а; Чмиленко, Смитюк, 2001б). Оптимальные диапазоны параметров УЗ для ряда почв представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Параметры ультразвука для определения подвижных форм элементов в различных типах почв**

Параметры УЗ	Почва				
	Чернозем обыкновенный	Оподзоленный чернозем	Бурая лесная	Лессивированная коричневая	Делювиальная
Частота, кГц	22–25	20–25	20–35	18–35	20–35
Интенсивность, Вт/см <sup>2</sup>	3,75–3,88	3,70–3,88	3,55–3,70	3,88–4,23	3,88–4,23
Время, мин	5	5	4	5	5

Из табл. 1 следует, что оптимальным диапазоном частот УЗ при анализе почв является 22–25 кГц и он не зависит от природы анализируемого образца. На рис. 2 приведена зависимость изменения концентрации подвижных форм хрома в 1,0 М солянокислой вытяжке от времени и интенсивности ультразвукового воздействия при частоте 22 кГц на чернозем обыкновенный.

Результаты определения потенциального и актуального запаса элементов с использованием стандартных агрохимических методик и предложенного метода, основанного на воздействии УЗ при оптимальных параметрах, приведены в табл. 2.

С целью установления интенсифицирующих факторов УЗ получение 1,0 М  $HCl$  вытяжек проводили при постоянном пропускании углекислого газа ( $V_{CO_2} = 5$  мл/мин) для устранения явления кавитации (Маргулис, 1984). Атомно-абсорбционное определение микроэлементов в этих вытяжках показало, что проведение опытов в усло-

виях невозможности протекания звукохимических реакций к значительным изменениям ранее полученных результатов не привело. Следовательно, определяющим фактором ультразвуковой интенсификации процесса получения почвенных вытяжек является диспергирующее и перемешивающее действие УЗ. Следует также отметить, что проведение опытов в условиях термостатирования системы почва – раствор и т е л ь ( $20 \pm 1$ )°С показало, что вклад температурного фактора незначителен.

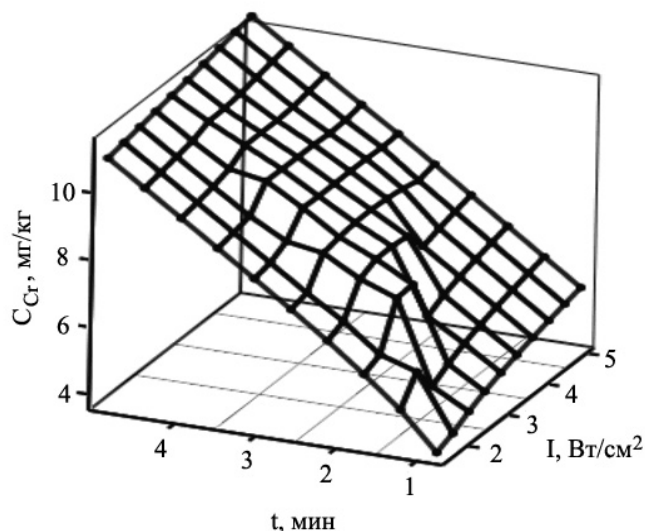


Рис 2. Изменение концентрации подвижных форм хрома в 1,0 М солянокислой вытяжке из чернозема обыкновенного от времени и интенсивности ультразвукового воздействия ( $f = 22$  кГц)

Результаты опытов, приведенные в табл. 2, показывают возможность использования УЗ в интенсификации пробоподготовки при определении подвижных форм элементов, при этом процесс пробоподготовки сокращается в 10–15 раз, а метрологические характеристики полученных результатов анализа улучшаются. Недостатком ультразвуковой пробоподготовки почв к определению подвижных форм элементов является необходимость проведения соответствующих исследований по установлению параметров УЗ для каждого типа почв.

Таблица 2

Результаты анализа почв с использованием агрохимической и ультразвуковой методик атомно-абсорбционного определения подвижных форм элементов в почвах ( $n = 6$ )

Элемент	Актуальный запас				Потенциальный запас			
	Стандартная агрохимическая методика		УЗ-методика		Стандартная агрохимическая методика		УЗ-методика	
	$C_{ср}$	$S_r$	$C_{ср}$	$S_r$	$C_{ср}$	$S_r$	$C_{ср}$	$S_r$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Чернозем обыкновенный								
Cd	0,14	0,16	0,15	0,12	0,37	0,15	0,36	0,11
Pb	7,54	0,15	7,62	0,11	14,52	0,14	14,70	0,09
Cr	6,46	0,14	6,38	0,09	7,35	0,14	7,40	0,10
Cr*	6,46	0,14	6,35	0,09	7,35	0,14	7,37	0,10
Mn	1,55	0,14	1,49	0,10	1,62	0,15	1,58	0,12
Ni	1,36	0,16	1,38	0,11	14,49	0,14	14,90	0,12
B	8,11	0,12	8,08	0,09	7,66	0,12	7,62	0,10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pb	0,72	0,17	0,69	0,14	3,02	0,12	2,97	0,09
Cr	0,65	0,18	0,68	0,10	5,42	0,15	5,49	0,09
Mn	5,62	0,14	5,59	0,12	–	–	–	–
Ni	2,09	0,15	2,03	0,12	11,28	0,14	11,09	0,12
B	3,51	0,12	3,55	0,09	3,48	0,12	3,45	0,10
Бурая лесная								
Cd	0,09	0,17	0,10	0,13	0,52	0,14	0,57	0,12
Pb	0,54	0,16	0,55	0,12	3,50	0,15	3,52	0,10
Cr	0,74	0,16	0,78	0,11	4,30	0,15	4,34	0,12
Cr*	0,74	0,16	0,75	0,11	4,30	0,15	4,30	0,12
Mn	0,25	0,16	0,24	0,12	–	–	–	–
Ni	0,27	0,17	0,23	0,13	0,24	0,16	0,23	0,12
B	0,68	0,14	0,63	0,10	0,62	0,14	0,64	0,11
Лессивированная коричневая								
Cd	0,38	0,16	0,39	0,14	1,09	0,14	1,06	0,12
Pb	0,95	0,15	0,97	0,14	1,09	0,13	1,07	0,10
Cr	0,99	0,14	1,05	0,12	6,08	0,15	6,09	0,10
Mn	1,02	0,15	1,04	0,13	1,02	0,16	1,01	0,11
Ni	2,09	0,15	2,03	0,12	11,28	0,14	11,09	0,12
B	3,51	0,12	3,55	0,09	3,48	0,12	3,45	0,10
Делювиальная								
Cd	0,08	0,17	0,08	0,12	0,49	0,14	0,51	0,11
Pb	0,72	0,17	0,69	0,14	3,02	0,12	2,97	0,09
Cr	0,65	0,18	0,68	0,10	5,42	0,15	5,49	0,09
Mn	1,20	0,15	1,18	0,13	1,21	0,14	1,22	0,12
Ni	0,07	0,17	0,08	0,13	12,25	0,15	12,11	0,12
B	1,02	0,15	1,03	0,10	1,49	0,12	1,45	0,11

\* Опыты проводились при насыщении пробы углекислым газом.

Применение УЗ с параметрами, не соответствующими приведенным в табл. 1, приводит к несовпадению полученных результатов определения подвижных форм элементов с результатами агрохимических методик.

#### Ультразвуковая интенсификация пробоподготовки почв при определении валового содержания элементов

Ультразвук широко применяется для интенсификации пробоподготовки почв к определению валового содержания элементов (Маргулис, 1982; Чмиленко, Бакланов, 2001). Однако до выполнения данной работы применялся только УЗ фиксированных частот (Атомно-эмиссионное ..., 1989; Кумина, 1985; Ультразвуковое ..., 1989). В то же время именно от частоты УЗ зависит величина акустических течений, а следовательно и эффективность ультразвукового перемешивания, что определяет эффективность интенсификации массообменных процессов (Маргулис, 1984, 1986; Основы ..., 1987; Васильев, 1965; Эльпинер, 1963; Чмиленко, Бакланов, 2001). Было проведено исследование влияния параметров УЗ и длительности воздействия на стадии пробоподготовки при определении валового содержания элементов в почвах различных типов.

Для минерализации почвенных образцов применяли смесь концентрированных соляной и азотной (3 : 1) кислот («царскую водку» – ЦВ), а также ЦВ, разбавленную водой (1 : 1), как обеспечивающие наибольшую степень извлечения элементов (Чмиленко, Смитюк, 2001а). Ультразвуковую интенсификацию процесса кислотного раз-

ложения почвенных образцов проводили согласно методике, изложенной в статье «Определение валового содержания ...» (Чмиленко, Смитюк, 2001б).

Установлено, что для каждого типа почвы существуют свои оптимальные диапазоны параметров УЗ и продолжительности воздействия (табл. 3), соответствующие максимально возможному количеству кавитационных пузырьков для данной системы. Изучение кавитационного шума, образующегося при воздействии УЗ на водные системы, показало, что максимальный уровень кавитационной активности для этой системы наблюдался при воздействии УЗ в диапазоне частот 22–25 кГц (рис. 3).

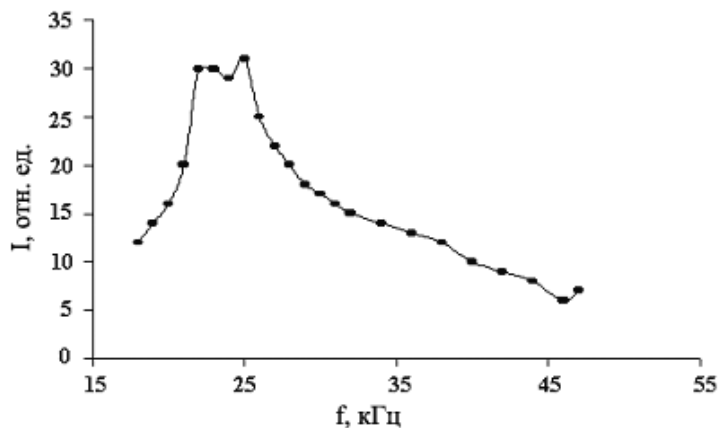


Рис. 3. Влияние частоты ультразвука на величину кавитационного шума

В табл. 3 представлены результаты определения валового содержания элементов в почвах, подвергнутых разложению по стандартной методике и с использованием УЗ на стадии пробоподготовки.

Таблица 3

Результаты анализа почв с использованием агрохимических и ультразвуковой методик атомно-абсорбционного определения валового содержания элементов, мг/кг (n = 6)

Элемент	Стандартная агрохимическая методика		Ультразвуковая методика*	
	C <sub>ср</sub>	S <sub>г</sub>	C <sub>ср</sub>	S <sub>г</sub>
	Разложение: сплавлением с Sr (BO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>		f = 20 кГц, I = 3,88 Вт/см <sup>2</sup> , t = 15 мин	
1	2	3	4	5
Чернозем обыкновенный				
Pb	16,28	0,14	16,69	0,11
Cr	25,04	0,12	26,14	0,11
Mn	16,18	0,13	16,68	0,13
Ni	18,93	0,13	19,41	0,13
Буряя лесная				
Pb	5,71	0,14	5,81	0,10
Cr	10,51	0,13	10,95	0,11
Mn	7,01	0,14	7,24	0,12
Ni	3,29	0,14	3,35	0,12
Разложение смесью HCl + HF + HNO <sub>3</sub>			f = 22 кГц, I = 3,88 Вт/см <sup>2</sup> , t = 15 мин	
Чернозем обыкновенный				
Pb	17,20	0,14	17,32	0,08
Cr	26,01	0,14	27,22	0,08
Mn	16,38	0,15	17,54	0,07
Ni	19,93	0,15	20,46	0,09

1	2	3	4	5
	Бурая лесная			
Pb	6,11	0,14	6,05	0,09
Cr	11,12	0,14	11,42	0,10
Mn	7,12	0,14	7,62	0,11
Ni	3,38	0,15	3,57	0,11
	Разложение: смесью HCl + HNO <sub>3</sub>		f = 25 кГц, I = 3,88 Вт/см <sup>2</sup> , t = 15 мин	
	Чернозем обыкновенный			
Pb	14,78	0,14	17,38	0,08
Cr	24,85	0,14	27,19	0,09
Mn	16,18	0,15	17,07	0,09
Ni	15,93	0,15	20,35	0,08
	Чернозем обыкновенный**			
Pb	14,55	0,14	14,52	0,12
Cr	25,01	0,14	25,02	0,11
Mn	16,22	0,14	15,39	0,12
Ni	15,97	0,15	14,45	0,11
	Бурая лесная			
Pb	4,59	0,14	6,11	0,10
Cr	9,69	0,14	11,40	0,10
Mn	6,71	0,15	7,54	0,11
Ni	2,85	0,16	3,62	0,10
	Бурая лесная**			
Pb	4,54	0,15	4,07	0,11
Cr	9,74	0,14	10,01	0,11
Mn	6,75	0,15	6,59	0,12
Ni	2,89	0,15	2,61	0,12
	Разложение смесью HF + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		f = 27 кГц, I = 3,88 Вт/см <sup>2</sup> , t = 15 мин	
	Чернозем обыкновенный			
Pb	17,14	0,13	16,71	0,12
Cr	25,74	0,13	26,09	0,12
Mn	16,47	0,14	16,57	0,12
Ni	20,04	0,14	19,31	0,13
	Бурая лесная			
Pb	6,12	0,13	5,80	0,11
Cr	11,08	0,13	11,17	0,12
Mn	7,32	0,14	7,31	0,12
Ni	3,52	0,14	3,32	0,12
	Разложение смесью HF + HCl		f = 30 кГц, I = 3,88 Вт/см <sup>2</sup> , t = 15 мин	
	Чернозем обыкновенный			
Pb	17,01	0,14	16,64	0,12
Cr	25,77	0,14	26,00	0,12
Mn	16,49	0,15	16,41	0,13
Ni	19,87	0,15	19,25	0,13
	Бурая лесная			
Pb	6,01	0,14	5,74	0,12
Cr	11,00	0,14	11,12	0,13
Mn	7,28	0,14	7,30	0,12
Ni	3,47	0,15	3,42	0,12

\* УЗ воздействовали на систему почва–«царская водка» (1:1) (Чмиленко, Смитюк, 2001б).

\*\* Опыты проводились в условиях невозможности протекания звукохимических реакций (при насыщении системы CO<sub>2</sub>).

Из результатов опытов, приведенных в табл. 3, следует, что наилучшие результаты анализа почв получены при использовании ультразвуковой методики в диапазоне частот 22–25 кГц. При использовании стандартных агрохимических методик наилучшие результаты получены при применении сплавления и кислотного разложения в присутствии *HF*. При использовании же кислотного разложения смесями кислот в любом сочетании, но без *HF* были получены заниженные результаты определения свинца и никеля, что связано с неполным разложением почв (Аринушкина, 1970). В то же время при использовании кислотного разложения почв разбавленной «царской водкой» с ультразвуковой интенсификацией процесса было достигнуто полное разложение почв продукта. Введение *HF* в состав кислотных смесей, используемых для разложения почв в сочетании с воздействием УЗ, никаких преимуществ не дало по сравнению с использованием разбавленного раствора «царской водки». Следует также отметить, что кислотное разложение почвы с ультразвуковой интенсификацией процесса в условиях невозможности протекания звукохимических реакций (при насыщении системы почва – «царская водка»  $\text{CO}_2$ ) показало, что в этих условиях извлечение свинца и никеля было неполным, что, очевидно, связано с неполным разложением почв. Следовательно, определяющим фактором интенсифицирующего действия УЗ на процессы интенсификации кислотного разложения почв является протекание звукохимических реакций с участием радикалов, которые, обладая высокой реакционной способностью, окисляют органические вещества, входящие в состав почвы (Маргулис, 1984; Чмиленко, Бакланов 2001).

\* \* \*

1. При анализе почв с использованием УЗ на стадии пробоподготовки параметры воздействия влияют на содержание элементов в почвенных вытяжках и растворах «царской водки». И в том, и в другом случае наилучшие результаты могут быть получены при использовании УЗ с оптимальными диапазонами интенсивности, частоты и времени воздействия. При этом создается в системе жидкость – твердое вещество максимальный уровень кавитационной активности. Причем оптимальный частотный диапазон для всех анализируемых типов почв одинаков.

2. Использование УЗ позволяет сократить процесс разложения почвы при определении валового содержания элементов от 4–10 часов до 10–15 минут, при этом концентрация «царской водки» может быть уменьшена в 2 раза при улучшении метрологических характеристик полученных результатов анализа.

3. Определяющим фактором интенсифицирующего действия УЗ на процесс кислотного разложения почв при определении валового содержания элементов и получении почвенных вытяжек для оценки содержания подвижных форм является протекание звукохимических реакций.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Аринушкина Е. В.** Руководство по химическому анализу почв. – М.: МГУ, 1970. – 488 с.
- Атомно-эмиссионное** определение микроэлементов в кубинских почвах с применением ультразвуковой обработки проб / А. В. Карякин, М. С. Помарес-Альфонсо, Д. М. Кумина и др. // Журн. аналит. химии. – 1989. – Т. 44, № 8. – С. 1480-1484.
- Васильев В. В.** Применение ультразвука в аналитической химии. – Ленинград: ЛГУ, 1965. – С. 5-14.
- Использование** ультразвука в химическом анализе / Ф. А. Чмиленко, А. Н. Бакланов, Л. П. Сидорова, Ю. П. Пискун // Журн. аналит. химии. – 1994. – Т. 49, № 6. – С. 550-556.
- Кумина Д. М., Карякин А. В., Грибовская И. Ф.** Метод извлечения элементов из растений в раствор с использованием ультразвука // Журн. аналит. химии. – 1985. – Т. 40, № 7. – С. 1184-1187.
- Маргулис М. А.** Звукохимические реакции и сонолюминесценция. – М.: Химия, 1986. – 288 с.
- Маргулис М. А.** Основы звукохимии. – М.: Высш. шк., 1984. – 272 с.



**Методические** указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 60 с.

**Орлов Д. С.** Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: МГУ, 1990. – 486 с.

**Основы** физики и техники ультразвука. / Б. А. Агранат, М. П. Дубровин, Н. Н. Хавский, Г. И. Эскин. – М.: Высш. шк., 1987. – 352 с.

**Практикум** по агрохимии / Под ред. В. Г. Минеева. – М.: МГУ, 1989. – 304 с.

**Ультразвуковая** подготовка почв при определении растворимых форм бора / Ф. А. Чмиленко, Н. М. Смитюк, А. Н. Бакланов, Г. Б. Хоменко // Вопросы химии и химической технологии. – 2001. – № 6. – С. 10-13.

**Ультразвуковое** извлечение микроэлементов из почв и растений для последующего из определения атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектрометрией / Д. М. Кумина, Е. Н. Савинова, Т. В. Шумская и др. // Журн. аналит. химии. – 1989. – Т. 44, № 3. – С. 567-569.

**Фомин Г. С., Фомин А. Г.** Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам: Справочник. – М.: Протектор, 2001. – 304 с.

**Чмиленко Ф. А., Бакланов А. Н.** Ультразвук в анализе. Теория и практика. – Д.: ДНУ, 2001. – 264 с.

**Чмиленко Ф. А., Смитюк Н. М.** О содержании подвижных форм тяжелых металлов в почве г. Днепропетровска // Вісник ДНУ. Сер. Біологія, екологія. – 2001а. – Вип. 9, т. 2. – С. 126-128.

**Чмиленко Ф. А., Смитюк Н. М.** Определение валового содержания и растворимых форм тяжелых металлов в почвах // Вісник ДНУ. Сер. Хімія. – 2001б. – Вип. 6. – С. 16-32.

**Чмиленко Ф. А., Смитюк Н. М., Бакланов А. Н.** Атомно-абсорбционное определение металлов в почвах с ультразвуковой интенсификацией пробоподготовки // Журн. аналит. химии. – 2002. – Т. 57, № 4. – С. 372-377.

**Чмиленко Ф. А., Смитюк Н. М., Бакланов А. Н.** Ультразвук в определении растворимых форм металлов в почвах // Вопросы химии и химической технологии. – 2001б. – № 3. – С. 12-15.

**Шалы Р.** Использование ультразвука при диспергировании почвенных образцов // Почвоведение. – 1967. – № 11. – С. 129-137.

**Эльпинер И. Е.** Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие. – М: Физматгиз., 1963. – 420 с.

*Надійшла до редколегії 11.01.05*